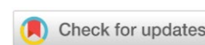
ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ INFORMATION TECHNOLOGY, COMPUTER SCIENCE AND MANAGEMENT

УДК 621.311
https://doi.org/10.23947/2687-1653-2024-24-1-88-97

Научная статья

Проектирование контрольно-измерительных компонент распределительных энергетических систем



EDN: RZSDQA

Ю.А. Клименко✉, **Я.Е. Львович**, **А.П. Преображенский**
Воронежский институт высоких технологий, г. Воронеж, Российская Федерация
✉ klm71165@mail.ru

Аннотация

Введение. В последние годы развитие высоковольтных энергетических систем получило новый импульс в связи с необходимостью инфраструктурного обеспечения территорий опережающего развития. Нужны универсальные модели и алгоритмы для реализации процессов в энергетических компонентах и выявления их оптимальных параметров. Однако такие решения отсутствуют. Соответственно, нет готовых подсистем с алгоритмами управления и оптимизации, адекватными рассматриваемым задачам. Цель представленного исследования — разработка подсистемы оптимизации при проектировании контрольно-измерительных компонент распределительных энергетических систем.

Материалы и методы. Используются методы построения автоматизированных систем проектирования, оптимизации, системного анализа, математического моделирования и адаптивного управления. При выборе методов исходили из того, что компоненты распределительных электрических систем состоят из конечного числа элементов. Синтез энергетической системы включает десятки или сотни последовательных операций. Это учтено в разработанных моделях и алгоритмах.

Результаты исследования. Показаны возможности управления и контроля технологических процессов (ТП) производства компонент низковольтных распределительных энергетических систем в плане проверки работоспособности и корректности функционирования технологического оборудования. Создана модульная структура, позволяющая интегрировать выходные файлы САПР в процессы производства. Разработана функциональная схема подсистемы управления и контроля технологических процессов производства компонент распределительных энергетических систем. Предложенная принципиальная схема контроля производства показывает, каким образом в контроле операций задействованы подсистема сбора данных, система управления и управляющие механизмы. Созданная в рамках данной работы многоуровневая модель модуля оптимизации последовательно оптимизирует интенсивность обслуживания i-го блока, коэффициенты разделения входного потока и приоритеты исходных потоков данных, образующих входной поток i-го блока.

Обсуждение и заключение. Комплексное применение методов моделирования, системного анализа, оптимизации обеспечивает контроль точности формируемых энергетических компонент. Алгоритм управления электрическими нагрузками открывает возможности для создания математической модели системы энергоснабжения, которая объединяет управление, контроль, мониторинг, что в конечном счете ведет к улучшению качества электроэнергии. Решение может быть востребовано при развитии энергетических систем территорий опережающего развития.

Ключевые слова: улучшение качества электроэнергии, распределительная энергетическая система, поток данных в модуле оптимизации, многоуровневая оптимизационная модель

Благодарности. Авторы благодарны Воронежскому институту высоких технологий за помощь при подготовке статьи.

Для цитирования. Клименко Ю.А., Львович Я.Е., Преображенский А.П. Проектирование контрольно-измерительных компонент распределительных энергетических систем. *Advanced Engineering Research* (*Rostov-on-Don*). 2024;24(1):88–97. https://doi.org/10.23947/2687-1653-2024-24-1-88-97

Research article

Design of Instrumentation and Control Components of Power Distribution Systems

Yuri A. Klimenko ✉, **Yakov E. Lvovich**, **Andrey P. Preobrazhensky**
Voronezh Institute of High Technologies, Voronezh, Russian Federation
✉ klm71165@mail.ru

Abstract
Introduction. In recent years, the development of high-voltage power systems has received a boost due to the need for infrastructural support for priority development areas. Universal models and algorithms are required to implement processes in power components and identify their optimal parameters. However, there are no such solutions. Accordingly, there are no ready-made subsystems with control and optimization algorithms adequate to the tasks under consideration. The objective of the presented research is to develop an optimization subsystem for the design of control and measurement components of power distribution systems.
Materials and Methods. Methods for constructing automated design systems, optimization, system analysis, mathematical modeling, and adaptive control were used. When selecting methods, we proceeded from the fact that the components of power distribution systems consisted of a finite number of elements. The synthesis of a power system includes tens or hundreds of sequential operations. This was taken into account in the developed models and algorithms.
Results. The possibilities of managing and monitoring manufacturing processes (MP) for the production of components of low-voltage power distribution systems were shown in terms of checking the operability and correct functioning of processing equipment. A modular structure was created to allow the integration of CAD output files into the manufacturing processes of energy distribution system components. A functional diagram of a subsystem for control and monitoring of the manufacturing processes of the production of components of power distribution systems was developed. The proposed schematic diagram of production control showed how the data collection subsystem, management system, and operating mechanisms were involved in the control of operations. The multi-level optimization module model created within the framework of this research sequentially optimized the service intensity of the i-th block, the input flow separation coefficients, and the priorities of the original data flows that form the input flow of the i-th block.
Discussion and Conclusion. The combined application of modeling, system analysis, and optimization methods maintains control of the accuracy of the generated power components. The algorithm for controlling electrical loads opens up opportunities for creating a mathematical model of a power supply system that combines management, control, and monitoring, which ultimately leads to an improvement in the quality of electric power. The solution can be in demand in the development of power systems of priority development areas.

Keywords: improvement of electric power quality, power distribution system, data flow in the optimization module, multi-level optimization model

Acknowledgments. The authors would like to thank colleagues of Voronezh Institute of High Technologies for their help in preparing the manuscript of this article.

For citation. Klimenko YuA, Lvovich YaE, Preobrazhensky AP. Design of Instrumentation and Control Components of Power Distribution Systems. *Advanced Engineering Research* (*Rostov-on-Don*). 2024;24(1):88–97. https://doi.org/10.23947/2687-1653-2024-24-1-88-97

Введение. Создание и развитие распределительных энергетических систем с требуемыми параметрами представляет собой важную научно-техническую задачу. В сфере высоковольтной энергетики ведутся активные теоретические и прикладные разработки. В последнее время в России формируются и развиваются территории опережающего развития. Это производственные кластеры, которые необходимо обеспечивать качественной инфраструктурой, в том числе энергетической. В большинстве случаев речь идет о небольших населенных пунктах, изначально отстающих в экономическом, социальном и инфраструктурном плане. Решению энергетических проблем в таких условиях должно способствовать использование универсальных моделей и алгоритмов, которые позволят, в частности, выявлять оптимальные параметры компонент энергетических процессов. Такие решения не представлены в литературе. Соответственно, нет и разработанных на их базе подсистем управления и оптимизации.

Следует отметить высокую стоимость современного энергетического оборудования. Его эффективность предполагает, что настройка обеспечивает оптимальные параметры работы компонент. При проектировании контрольно-измерительных компонент распределительных энергетических систем важно указать точки контроля и допуска относительно параметров качества соответствующих технологических операций [1]. При производстве следует определить технологические маршруты.

Рассмотрим подробнее последнюю ситуацию, то есть производство. Большое количество технологических операций может создавать сложности, связанные с контролем и управлением [2]. Поэтому при выпуске компонент энергетического оборудования важно указывать требования к подсистеме управления и оптимизации технологических процессов (ТП) производства. Такая подсистема задействуется при изготовлении опытных образцов. Еще один рекомендуемый подход — экспертиза энергетических модулей. Она позволяет определить адекватные выходные параметры. Важно также учитывать влияние внешних воздействий [3].

Для выбора алгоритмов следует опираться на методы математической статистики. Это позволяет контролировать и оптимизировать параметры качества процессов и задействовать соответствующие процедуры управления [4]. Следует отметить универсальность как преимущество алгоритмов. Благодаря ей в рамках системного подхода можно планировать и реализовать исследования в данном направлении [5]. Известно, что старт производства нового энергетического оборудования не всегда обеспечен требуемыми статистическими данными. В этом случае есть смысл применить адаптивные методы управления. Процедуры самооптимизации удобно использовать при изменении в требованиях к ТП, а также при варьировании внешних условий [6]. Цель представленной работы — создание подсистемы оптимизации при проектировании контрольно-измерительных компонент распределительных энергетических систем.

Материалы и методы. Используются методы создания автоматизированных систем проектирования, оптимизации, системного анализа, математического моделирования и адаптивного управления. При выборе методов учитывали, что компоненты распределительных электрических систем состоят из конечного числа элементов. Более развернуто задачу можно представить следующим образом. Планируется производство элементов оборудования для распределительных энергетических систем. Необходимо создать подсистему, которая будет управлять и оптимизировать производственные ТП. Анализ позволяет выбрать и задействовать метод адаптивного управления такой подсистемы [7].

Синтез всей энергетической системы включает десятки или сотни последовательных операций, и это учитывают при моделировании и алгоритмизации.

При производстве компонент энергетических комплексов предлагается применять имитационное моделирование на базе модуля оптимизации ТП [8]. При этом качество компонент рассматривается во взаимосвязи с параметрами создаваемой распределительной энергосистемы. Можно учесть и неконтролируемые параметры ТП.

На рис. 1 в виде модулей показана интеграция выходных файлов системы автоматизированного проектирования (САПР) в процессы производства компонент распределительных энергетических систем.

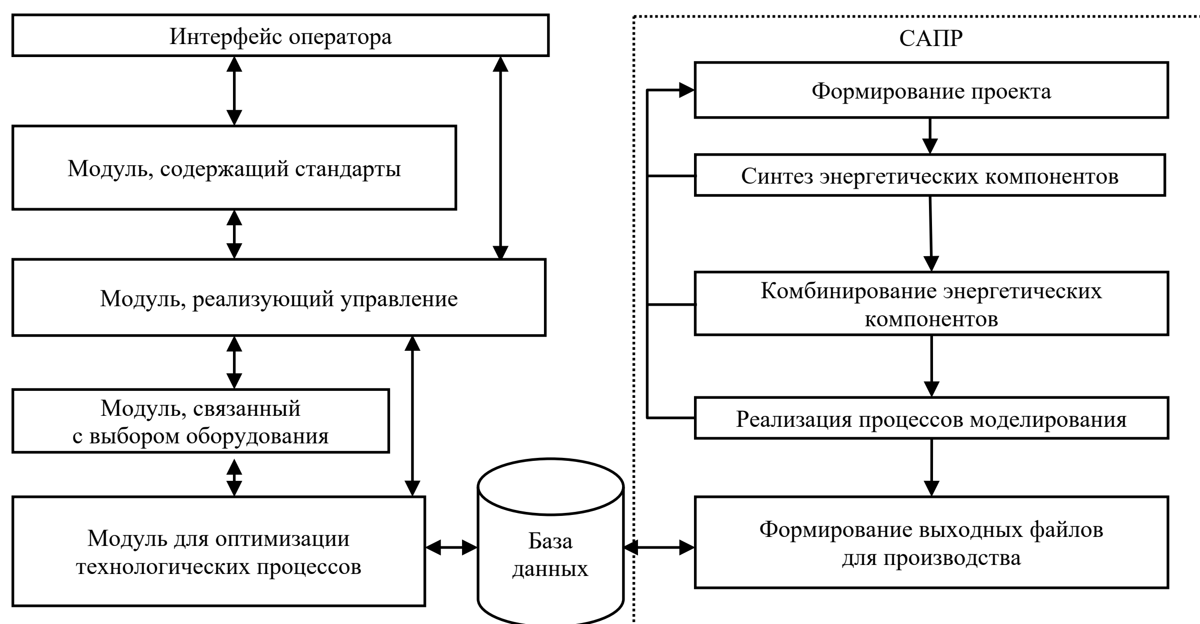


Рис. 1. Модульная структура интеграции выходных файлов САПР с процессами производства компонент распределительных энергетических систем

Модуль управления позволяет направить данные процессов в автоматизированную систему управления (АСУ) [9]. В ходе ТП операторы получают данные о надежности создаваемых энергетических компонент. При этом учитываются результаты физико-технической экспертизы и используется модуль оптимизации. Отслеживается влияние различных факторов на работоспособность энергетического оборудования. Анализируются данные о ранее произведенных компонентах. В дальнейших разработках предлагаемый модуль позволит сохранять и учитывать несколько типов настроек оборудования. Их можно будет использовать на производстве для определения диапазонов допусков по каждой технологической операции [10].

В АСУ ТП должны входить четыре модуля.

1. Подсистема поддержки межоперационного контроля.
2. Модуль управления транспортными операциями.
3. Подсистема управления режимами ТП.
4. Подсистема управления технологическими операциями.

Такая АСУ позволяет транслировать информацию конструкторов на производство. На практике используются различные системы по управлению качеством создаваемых компонент распределительных энергетических систем, в том числе с подсистемами контроля производства [11].

В данной работе предлагается автоматизированная подсистема управления и оптимизации контрольно-измерительных компонент энергетических комплексов. Она обеспечивает разные типы воздействий на ТП для любого этапа производства. Полученные ранее данные позволяют подсистеме уменьшить число бракованных элементов, то есть повысить качество продукции.

Рис. 2 иллюстрирует структуру этой подсистемы. Ее сформировали на основе требований к эффективности производственных процессов. К тому же учтены разные типы формируемых компонент. Для анализа можно использовать ранее применявшиеся значения параметров ТП. У оператора есть возможность их менять.

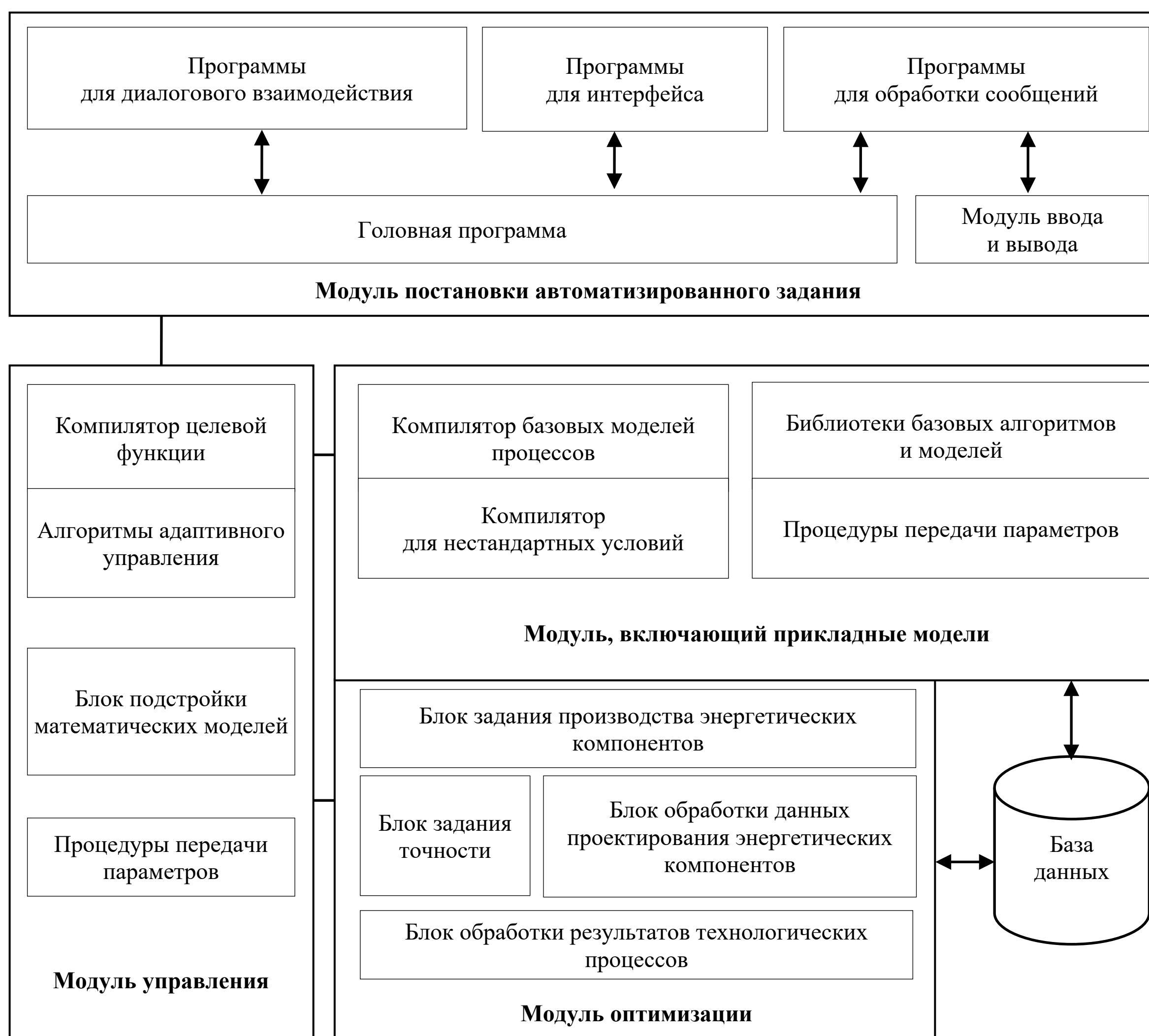


Рис. 2. Функциональная схема подсистемы управления и контроля ТП производства компонент распределительных энергетических систем

Головная программа рассматривается как основа модуля автоматизированного задания, база для процессов настройки и передачи параметров ТП производства. Проводится анализ, чтобы выявить необходимость корректировки настроек оборудования. Особую роль играют программы для обработки сообщений и поддержки диалогового взаимодействия. Они дают возможность корректировать ТП в ручном режиме. У оператора есть возможность выгружать текущие настройки из базы данных. Они задаются вручную или с помощью модуля ввода и вывода.

В модуле оптимизации формируется список операций верхнего уровня управления для конкретного ТП. Затем операции анализируются, задаются точность оптимизации и параметры производства. В соответствии с полученной информацией прикладные модели передаются модулю. При этом применяются аналитические, статистические модели базовых операций ТП. Для каждой такой операции в соответствующей части системы определяются входные и выходные параметры.

Модуль управления формирует и уточняет математическую модель процессов производства [12]. Затем он используется для определения допуска по параметрам качества в рамках отдельных технологических операций. Модель формируется в модуле прикладных моделей. Модуль автоматизированного задания предназначен для процедур максимизации целевой функции.

В базу данных записываются полученные настройки по оборудованию, управлению и параметрам процессов. Затем, при производстве энергетических компонент процесс анализируется и корректируются текущие настройки элементов оборудования.

Изучение управления и контроля ТП необходимо для проверки работоспособности технологического оборудования, корректности его работы и организации производства.

Результаты исследования. Контрольно-измерительные компоненты распределительных энергетических систем состоят из конечного числа элементов. Производство компонент включает десятки или сотни последовательных операций и опирается на решение задачи по формированию компонент с максимальной точностью. При этом для любого шага нужно учесть неконтролируемые параметры. С этой целью задействуют корреляционный анализ, адаптивное управление и оптимизацию.

Частные модели объединяются в общую модель создания электрических компонент, которую можно корректировать (например, с учетом опытной отработки оборудования или требований по конкретным компонентам). Некоторые алгоритмы создаются по результатам управления формированием компонент и в итоге позволяют улучшать качество при изменениях режимов работы. Главными показателями эффективности и стабильности производства можно считать значения показателя выхода пригодных энергетических компонент.

Назовем три основные особенности управления процессами формирования компонент.

1. По входным и выходным компонентам для разных партий важно поддерживать технические характеристики на требуемых уровнях.
2. Алгоритмы влияют на остановку каждой технологической операции.
3. Постоянный износ оборудования требует регулярной корректировки параметров процессов.

Опишем модель, базирующуюся на ТП создания энергетических компонент [13].

Предположим, что рассматривается (i–1)-я операция ТП:

$$u_i = F\left(u_{i-1}, v_i\right). \quad (1)$$

Здесь u_i — параметр качества энергетических компонент текущей операции; v_i — вариант производства.

Важно учитывать, что на практике имеют значение не параметры качества энергетических компонент, а зависящие от них конструктивные параметры (например, быстродействие). Тогда:

$$g_i = F^*\left(u_{i-1}, k_i\right). \quad (2)$$

Здесь g_i — контролируемые параметры текущей операции; k_i — конструктивные параметры.

Изготовление энергетических компонент описывается как траектория со сменой состояния. По конечному состоянию проводится подстройка ТП. В рамках управления траекторией решаются соответствующие задачи. Из множества решений выбирается оптимальное [14]. При этом учитываются заданные характеристики формируемых энергетических компонент. В данном случае управляющие воздействия должны обеспечить наилучшее совпадение требуемых и выходных характеристик формируемых компонент K_i^n. Здесь n — число операций ТП.

Базовая технология производства определяет исходные данные, последовательность технологических операций и устанавливает ограничения по управляющим переменным.

При выборе числа операций ТП (n – 1) целевая функция будет иметь вид:

$$F_ц = G\left(K_1 ... K_n, c_1 ... c_n\right). \quad (3)$$

Здесь $c_1 \ldots c_n$ — выбираемые управляющие переменные процесса.

Введем параметр φ_i, который характеризует соответствующие цели, связанные с i-й операцией. При (n – 1) операций в ТП справедливо выражение:

$$f_{n-1}\left(K_n\right) = min\left(\varphi_{n-1}\left[K_n, c_{n-1}\right] + f_{n-2}\left(K_{n-1}\right)\right) = \min_{c_{n-1}} C_{n-1}\left(K_n, c_{n-1}\right). \quad (4)$$

Если в ТП одна операция, то:

$$f_1\left(K_2\right) = \min_{c_1}\left(K_2, l_1\right). \quad (5)$$

Важно, что

$$f_0\left(K_1\right) = 0. \quad (6)$$

При таких условиях для ТП целевая функция определяется следующим образом:

$$C_1\left(K_2, c_1\right) = \varphi\left(K_2, c_1\right). \quad (7)$$

Принципиальная схема на рис. 3 показывает, как формируются энергетические компоненты. Подсистема сбора данных ТП (системой датчиков и контрольно-измерительными приборами) передает в систему управления значения входных и выходных параметров для каждой технологической операции n. Это происходит до и после каждой операции n (n = 0, 1, 2, …, m). Значения фиксируются в подсистеме сбора данных.

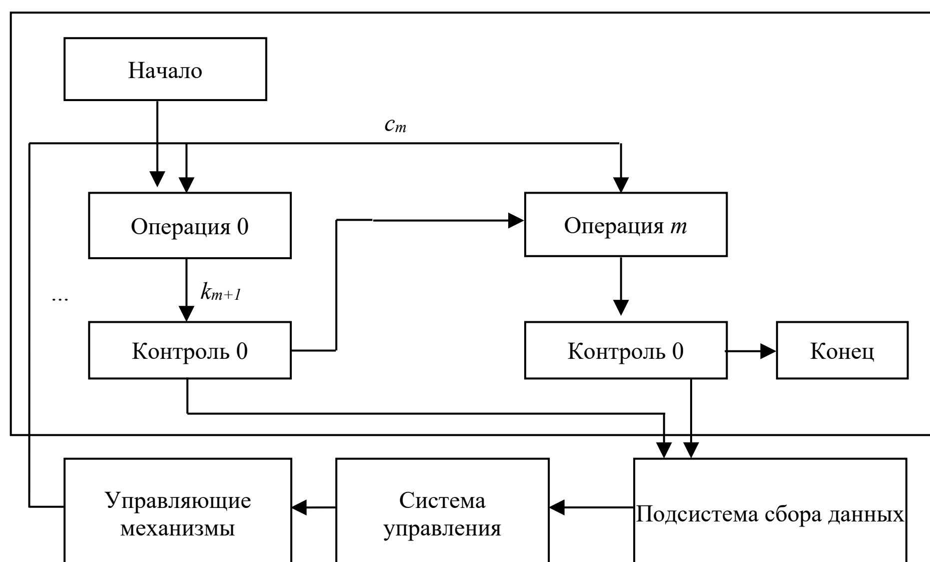


Рис. 3. Принципиальная схема контроля производства энергетических компонент

Всего рассматривается m операций. Работа оканчивается после выполнения m + 1 операции.

Использование модели оптимизации дает возможность формировать технологии преобразования входного потока данных ($X_{\text{ВХ}}$). Основные каналы обработки входных данных:

− технологический отдел (ТО);

− производственный отдел (ПРО), n = 1;

− N структурных подразделений (СП^n).

На рис. 4. приводится структурная схема преобразования входного потока данных.

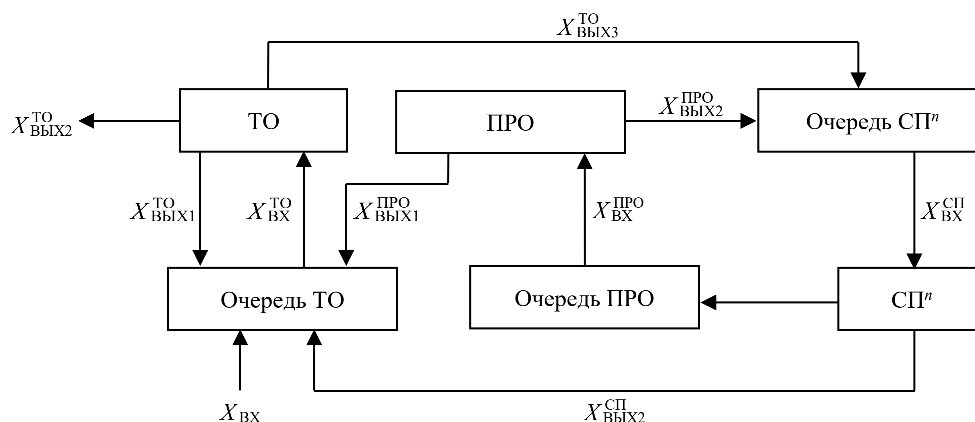


Рис. 4. Структурная схема распределения потока данных в модуле оптимизации

Здесь $X_{ВХ}$ — входной поток данных для обработки в ТО; $X^{ТО}_{ВЫХ1}, X^{ТО}_{ВЫХ2}, X^{ТО}_{ВЫХ3}$ — потоки данных на выходе из ТО; $X^{ПРО}_{ВЫХ}$ — входной поток данных для обработки в ПРО; $X^{ПРО}_{ВЫХ1}, X^{ПРО}_{ВЫХ2}$ — поток данных на выходе из ПРО; $X^{СП}_{ВХ}$ — входной поток данных для обработки в n-м (n = 1, N) СП^n; $X^{СП}_{ВЫХ1}, X^{СП}_{ВЫХ2}$ — потоки данных на выходе из СП^n. При этом поток на выходе модуля оптимизации $X_{ВЫХ} = X^{ТО}_{ВЫХ2}$.

Эффективность схемы определяется тремя факторами.

1. По всем типам входных потоков данных для любого блока в системе рассматриваются интенсивность и механизмы обслуживания.

2. Входной поток по каждому блоку разделяется на несколько выходных потоков данных.

3. В зависимости от уровня и приоритета имеет значение соблюдение очереди данных в каждом блоке.

Можно анализировать указанные процессы с помощью многоуровневой оптимизационной модели (рис. 5).

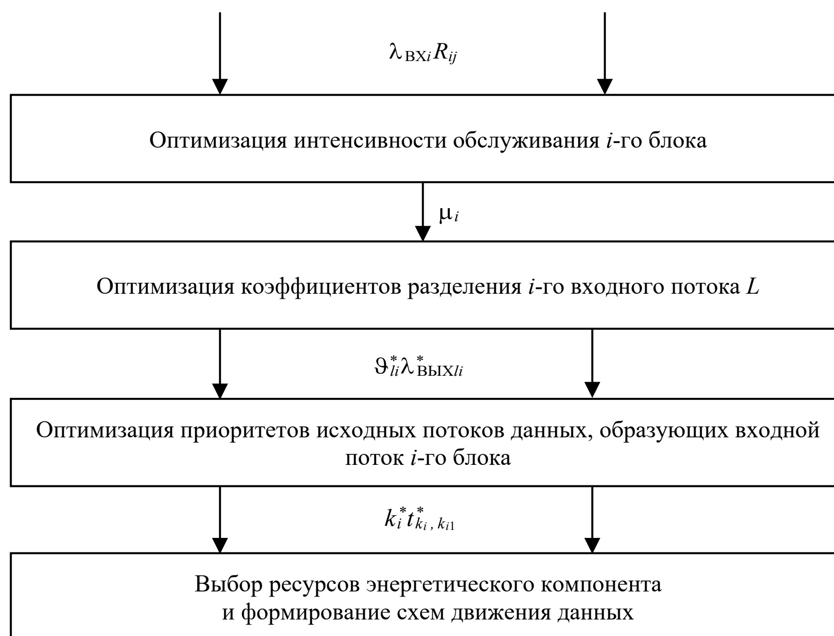


Рис. 5. Многоуровневая оптимизационная модель модуля оптимизации

Здесь $\lambda_{ВХi}$, $i = \overline{1, I}$ — интенсивность по входному потоку данных, связанная с $X_{ВХi}$ i-м блоком; $i = \overline{1, I}$ — номера блоков для энергетических компонент; R_{ij} — гарантированный уровень по j-му ($j = \overline{1, J}$) ресурсу в i-м блоке; $j = \overline{1, J}$ — номера, относящиеся к ресурсному обеспечению; μ_i, $i = \overline{1, I}$ — интенсивность обслуживания данных, связанная с i-м блоком; μ^*_i — оптимальное значение интенсивности; υ_{li} — коэффициент разделения данных i-го потока к 1-му выходному; $l = \overline{1, L}$ — обозначение номеров в выходных потоках; υ^*_{li} — оптимальное значение в коэффициенте разделения; $k = \overline{1, K}$ — значения номеров исходных потоков данных для входного потока в i-м блоке; $k^* = \overline{1, K^*}$ — номера исходных потоков, которые будут показывать оптимальные приоритеты; $t_{ki,ki1}$ — время прерывания обслуживания данных k_i данными k_{i1} при смешанных приоритетах; $t^*_{ki,ki1}$ — оптимальное время прерывания обслуживания данных k_i данными k_{i1}.

Устанавливается оптимальный характер приоритетов для нижнего уровня. Задача оптимальности решается по принципу Беллмана, то есть принцип оптимальности доказывается от противного. Принимается, что часть процесса не оптимальна по критерию качества. Сравниваются критерии исходного и оптимального процесса. На основании этого сопоставления делается вывод о доказательстве принципа оптимальности [15]. Выбор выполняется в ходе обработки разных типов данных по оптимальным, абсолютным и смешанным приоритетам. Планировщик заданий может использовать различные алгоритмы для принятия решений о порядке выполнения задач. В одних случаях бывают полезны оптимальные приоритеты, в других — абсолютные. Задания с более высоким приоритетом выполняются раньше, и, соответственно, отклик на них быстрее. При сочетании (смешении) приоритетов для отдельных заявок возможно бесприоритетное обслуживание.

Оптимальный механизм разделения на несколько выходных потоков на среднем уровне выбирается по входному потоку данных для каждого блока.

На верхнем уровне выбираются:

- сбалансированный по интенсивности входной поток;
- ресурсное обеспечение модуля оптимизации интенсивности обслуживания по каждому блоку.

При этом может быть использован градиентный подход.

Для энергетических компонент используется трехуровневая параметрическая оптимизация при выборе ресурсов и формировании схем движения данных по каждому блоку.

Обсуждение и заключение. Создана подсистема управления и контроля ТП производства контрольно-измерительных компонент распределительных энергетических систем. Она обеспечивает сбор данных и анализ дефектов в зависимости от настроек оборудования. Кроме того, решение позволяет получить требования к настройкам оборудования для достижения заданного уровня качества компонент.

Оптимизация проектирования необходима, например, при моделировании управления электрическими нагрузками для улучшения параметров качества электрической энергии в распределительных электрических сетях 0,4 кВ. Алгоритм процесса управления электрическими нагрузками исследовался в адаптивной системе контроля и управления качеством электроэнергии [15]. Его работоспособность подтвердилась, следовательно, решение можно применять при разработках оборудования для распределительных сетей 0,4 кВ. Кроме того, данный алгоритм можно задействовать при создании математической модели системы энергоснабжения, которая представляет собой комплекс функций: мониторинг, управление, контроль. Применение методов моделирования, системного анализа и оптимизации обеспечивает контроль точности формируемых энергетических компонентов. Адекватная реализация такого подхода позволит улучшить качество электроэнергии.

Результаты представленных изысканий практически применимы, в частности, для решения задач, связанных с энергетическим обеспечением территорий опережающего развития.

Список литературы / References

1. Yizhou Zhou, Mohammad Shahidehpour, Zhinong Wei, Zhiyi Li, Guoqiang Sun, Sheng Chen. Distributionally Robust Unit Commitment in Coordinated Electricity and District Heating Networks. *IEEE Transactions on Power Systems*. 2020;35(3):2155–2166. https://doi.org/10.1109/TPWRS.2019.2950987

2. Hechuan Liu, Xiaoxin Zhou, Xiaoyu Yang, Yalou Li, Xiong Li. Influence Evaluation of Integrated Energy System on the Unit Commitment in Power System. *IEEE Access*. 2020;8:163344–163356. URL: https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=9181509 (accessed: 25.11.2023).

3. Rakipour D, Barati H. Probabilistic Optimization in Operation of Energy Hub with Participation of Renewable Energy Resources and Demand Response. *Energy*. 2019;173:384–399. https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.02.021

4. Farahani SS, Bleeker C, Wijk A, Lukszo Z. Hydrogen-Based Integrated Energy and Mobility System for a Real-Life Office Environment. *Applied Energy*. 2020;264:114695. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114695

5. Sadeghi H, Rashidinejad M, Moeini-Aghtaie M, Abdollahi A. The Energy Hub: An Extensive Survey on the State-of-the-Art. *Applied Thermal Engineering*. 2019;161:114071. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.114071

6. Junkai Liang, Wenyuan Tang. Interval Based Transmission Contingency-Constrained Unit Commitment for Integrated Energy Systems with High Renewable Penetration. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. 2020;119:105853. http://doi.org/10.1016/j.ijepes.2020.105853

7. Klimenko YuA, Preobrazhensky AP. Simulation of the Control Process Electric Loads in the Distribution Network of 0.4 kv. *Control Systems and Information Technologies.* 2021;86(4):95–100. https://doi.org/10.36622/VSTU.2021.86.4.020

8. Alqunun K, Guesmi T, Albaker AF, Alturki MT. Stochastic Unit Commitment Problem, Incorporating Wind Power and an Energy Storage System. *Sustainability*. 2020;2(23):10100. https://doi.org/10.3390/su122310100

9. Shuai Lu, Wei Gu, Ke Meng, Zhaoyang Dong. Economic Dispatch of Integrated Energy Systems with Robust Thermal Comfort Management. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*. 2021;12(1):222–233. https://doi.org/10.1109/TSTE.2020.2989793

10. Воропай Н.И., Стенников В.А., Барахтенко Е.А., Войтов О.Н. Методика управления спросом на электро- и теплоэнергию в интегрированной энергосистеме с активными потребителями. *Известия РАН. Энергетика*. 2020;4:11–23. https://doi.org/10.31857/S0002331020040081

Voropai NI, Stennikov VA, Barakhtenko EA, Voitov ON. Methodology of Demand Management of Electricity and Heat in an Integrated Energy System with Active Consumers. *Proceedings of the RAS. Power Engineering*. 2020;4:11–23. https://doi.org/10.31857/S0002331020040081

11. Антонов С.Н., Адошев А.И. Опыт проведения энергетических обследований государственных и муниципальных объектов. *Вестник АПК Ставрополья*. 2014;13(1):49–52. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/opyt-provedeniya-energeticheskih-obsledovaniy-gosudarstvennyh-i-munitsipalnyh-obektov/viewer (дата обращения: 25.11.2023).

Antonov SN, Adoshev AI. Experience of Conducting Energy Audits of State and Municipal Objects. *Agricultural Bulletin of Stavropol Region*. 2014;13(1):49–52. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/opyt-provedeniya-energeticheskih-obsledovaniy-gosudarstvennyh-i-munitsipalnyh-obektov/viewer(accessed: 25.11.2023).

12. Антонов С.Н., Адошев А.И., Шарипов И.К. Энергоаудит сельскохозяйственных предприятий. В: *Тр. 78-й науч.-практ. конф. «Методы и технические средства повышения эффективности использования электрооборудования в промышленности и сельском хозяйстве»*. Ставрополь: АГРУС; 2014. С. 26–29.

Antonov SN, Adoshev AI, Sharipov IK. Energy Audit of Agricultural Enterprises. In: *Proc. 78th Sci.-Prac. Conf. "Methods and technical means of increasing the efficiency of the use of electrical equipment in industry and agriculture"*. Stavropol: AGRUS; 2014. P. 26–29. (In Russ.).

13. Мо Зо Тве. Адаптивная система управления кластером альтернативных источников энергии. В: *Тр. 19-й Всерос. межвуз. науч.-тех. конф. студентов и аспирантов «Микроэлектроника и информатика»*. Москва: МИЭТ; 2012. С. 180.

Mo Zo Twe. Adaptive Control System for a Cluster of Alternative Energy Sources. In: *Proc. 19th All-Russian Interuniversity Sci.-Tech. Conf. Of Students and Postgraduates "Microelectronics and Computer Science"*. Moscow: MIET; 2012. P. 180. (In Russ.).

14. Кирикова Е.А., Разживина А.А. Оценка рисков проектов по энергосбережению на основе методов имитационного моделирования. С*б. мат-лов XII Междунар. науч.-практ. конф. «Российские регионы в фокусе перемен»*. Екатеринбург: УрФУ; 2017. С. 428–434.

Kirikova EA, Razzhivina AA. Risk Assessment of Energy Saving Projects Based on Simulation Methods. In: *Proc. XII Int. Sci.-Prac. Conf. "Russian Regions in the Focus of Change"*. Ekaterinburg: UrFU; 2017. P. 428–434. (In Russ.).

15. Мо Зо Тве. Разработка адаптивных алгоритмов управления энергетическим комплексом. *Оборонный комплекс — научно-техническому прогрессу России*. 2011;4:48–51.

Mo Zo Twe. Development of Adaptive Algorithms for Managing the Energy Complex. *Defense Complex. Interindustry Scientific and Technical Journal*. 2011;4:48–51. (In Russ.).

Об авторах:

Юрий Алексеевич Клименко, аспирант кафедры информационных систем и технологий Воронежского института высоких технологий (394043, РФ, г. Воронеж, ул. Ленина, 73а), SPIN-код: 8457-7141, ORCID, klm71165@mail.ru

Яков Евсеевич Львович, доктор технических наук, профессор кафедры информационных систем и технологий Воронежского института высоких технологий (394043, РФ, г. Воронеж, ул. Ленина, 73а), SPIN-код: 9029-3251, ORCID, ResearcherID, office@vivt.ru

Андрей Петрович Преображенский, доктор технических наук, профессор кафедры информационных систем и технологий Воронежского института высоких технологий (394043, РФ, г. Воронеж, ул. Ленина, 73а), SPIN-код: 2758-1530, ResearcherID, app@vivt.ru

Заявленный вклад авторов:

Ю.А. Клименко — описание построения модульной структуры системы.

Я.Е. Львович — описание построения функциональной структуры системы.

А.П. Преображенский — описание многоуровневой оптимизационной модели модуля оптимизации.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Поступила в редакцию 13.12.2023
Поступила после рецензирования 09.01.2024
Принята к публикации 15.01.2024

About the Authors:

Yuri A. Klimenko, Postgraduate student of the Information Systems and Technologies Department, Voronezh Institute of High Technologies (73-A, Lenin St., Voronezh, 394043, RF), SPIN-code: 8457-7141, ORCID, klm71165@mail.ru

Yakov E. Lvovich, Dr.Sci. (Eng.), Professor of the Information Systems and Technologies Department, Voronezh Institute of High Technologies (73-A, Lenin St., Voronezh, 394043, RF), SPIN-code: 9029-3251, ORCID, ResearcherID, office@vivt.ru

Andrey P. Preobrazhensky, Dr.Sci. (Eng.), Professor of the Information Systems and Technologies Department, Voronezh Institute of High Technologies (73-A, Lenin St., Voronezh, 394043, RF), SPIN-code: 2758-1530, ResearcherID, app@vivt.ru

Claimed contributorship:
YuI. Klimenko: description of the construction of the modular structure of the system.
YaE Lvovich: description of the construction of the functional structure of the system.
AP Preobrazhensky: description of the multilevel optimization model of the optimization module.

Conflict of interest statement: the authors do not have any conflict of interest.

All authors have read and approved the final version of the manuscript.

Received 13.12.2023
Revised 09.01.2024
Accepted 15.01.2024